



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2004183066 A**(43) Date of publication of application: **02.07.04**

(51) Int. Cl.

C22C 38/00
C21D 8/12
C22C 38/16
C22C 38/60
H01F 1/16

(21) Application number: **2002353250**(22) Date of filing: **05.12.02**(71) Applicant: **JFE STEEL KK**

(72) Inventor: **TAKASHIMA MINORU**
KONO MASAOKI
KONO MASAKI

**(54) AGE-HARDENABLE NONORIENTED
 ELECTROMAGNETIC STEEL SHEET HAVING
 EXCELLENT BLANKING PROPERTY AND CORE
 LOSS, PRODUCTION METHOD THEREFOR AND
 PRODUCTION METHOD FOR ROTOR USING
 THE SAME**

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a nonoriented electromagnetic steel sheet which sufficiently increases the yield strength of a rotor while maintaining high blanking properties and satisfactory core loss, to

provide a production method therefor, and to provide a production method for a rotor using the same.

SOLUTION: The age-hardenable nonoriented electromagnetic steel sheet comprises, by mass, 20.02% C, 24.5% Si, 22.0Mn, 24.0% Al, 20.02% S, and 0.5 to 3.0% Cu, and the balance Fe with inevitable impurities. In the steel sheet, the increase of yield strength by aging treatment at 500°C for 10 hr is ≥ 100 MPa, and further, deterioration in core loss value is 21.5 W/kg.

COPYRIGHT: (C)2004,JPO&NCIP

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-183066

(P2004-183066A)

(43) 公開日 平成16年7月2日(2004.7.2)

(51) Int.Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
C 2 2 C 38/00	C 2 2 C 38/00 3 O 3 U	4 K O 3 3
C 2 1 D 8/12	C 2 1 D 8/12 A	5 E O 4 1
C 2 2 C 38/16	C 2 2 C 38/16	
C 2 2 C 38/60	C 2 2 C 38/60	
H O 1 F 1/16	H O 1 F 1/16 A	
審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 11 頁)		

(21) 出願番号	特願2002-353250 (P2002-353250)	(71) 出願人	000001258
(22) 出願日	平成14年12月5日 (2002.12.5)		J F E スチール株式会社
			東京都千代田区内幸町二丁目2番3号
		(74) 代理人	100108176
			弁理士 白木 大太郎
		(72) 発明者	高島 稔
			岡山県倉敷市水島川崎通一丁目(番地なし)
			川崎製鉄株式会社水島製鉄所内
		(72) 発明者	河野 雅昭
			岡山県倉敷市水島川崎通一丁目(番地なし)
			川崎製鉄株式会社水島製鉄所内
		(72) 発明者	河野 正樹
			岡山県倉敷市水島川崎通一丁目(番地なし)
			川崎製鉄株式会社水島製鉄所内
最終頁に続く			

(54) 【発明の名称】 打ち抜き性及び鉄損の優れた時効硬化性無方向性電磁鋼板、その製造方法及びそれを用いたローターの製造方法

(57) 【要約】

【課題】 高い打ち抜き性と良好な鉄損を維持しながら、ローターの降伏強度を十分高めるという課題を解決することができる無方向性電磁鋼板、その製造方法及びそれを利用したローターの製造方法を提案する。

【解決手段】 時効硬化性無方向性電磁鋼板を、質量比で、C : 0.02%以下、Si : 4.5%以下、Mn : 2.0%以下、Al : 4.0%以下、S : 0.02%以下、Cu : 0.5%以上3.0%以下を含有し、残部Fe及び不可避不純物からなり、500℃10hrの時効処理による降伏強度上昇が100MPa以上であるとともに、鉄損値の劣化が1.5W/kg以下であるものとする。

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

質量比で、C：0.02%以下、Si：4.5%以下、Mn：2.0%以下、Al：4.0%以下、S：0.02%以下、Cu：0.5%以上3.0%以下を含有し、残部Fe及び不可避不純物からなり、500℃で10hrの時効処理による降伏強度上昇が100MPa以上であるとともに、鉄損値の劣化が1.5W/kg以下であることを特徴とする打ち抜き性及び鉄損の優れた時効硬化性無方向性電磁鋼板。

【請求項 2】

Ni、Zr、V、Sb、Sn、Ge、B、Ca及び希土類元素から選んだ元素をNi、Zr、Vについては0.1～3.0%、Sb、Sn、Geについては0.01～0.5%、B、Ca及び希土類元素については0.001～0.01%を単独で又はこれらを複合して含有することを特徴とする請求項1記載の打ち抜き性及び鉄損の優れた時効硬化性無方向性電磁鋼板。

10

【請求項 3】

Pを0.5%以下の範囲で含有することを特徴とする請求項1又は2に記載の打ち抜き性及び鉄損の優れた時効硬化性無方向性電磁鋼板。

【請求項 4】

請求項1～3のいずれかに記載の組成を有する鋼スラブに巻取温度を60.0℃以下とする熱間圧延を施して熱延板を得、該熱延板に冷間圧延を施して最終板厚の冷延板とした後、Cu固溶温度(Ts)+10℃以上に加熱した後Cu固溶温度から400℃まで10℃/s以上の速度で冷却する仕上焼鈍を施すことを特徴とする打ち抜き性及び鉄損の優れた時効硬化性無方向性電磁鋼板の製造方法。

20

【請求項 5】

請求項1～3のいずれかに記載の組成を有する鋼スラブに熱間圧延を施して熱延板を得、Cu固溶温度+10℃以上に加熱した後該Cu固溶温度から400℃まで5℃/s以上の速度で冷却する熱延板焼鈍を施した後、冷間圧延を施して最終板厚の冷延板とし、Cu固溶温度(Ts)+10℃以上に加熱した後Cu固溶温度から400℃まで10℃/s以上の速度で冷却する仕上焼鈍を施すことを特徴とする打ち抜き性及び鉄損の優れた時効硬化性無方向性電磁鋼板の製造方法。

【請求項 6】

熱延板に冷間圧延を施すに当り、該冷間圧延を、中間焼鈍を挟む2回以上の冷間圧延とすることを特徴とする請求項4又は5に記載の打ち抜き性及び鉄損の優れた時効硬化性無方向性電磁鋼板の製造方法。

30

【請求項 7】

請求項1～3のいずれかに記載の無方向性電磁鋼板を打ち抜いた後、直ちに又はローター組み立てた後に時効処理を行う工程を付加することを特徴とするローターの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

本発明は、無方向性電磁鋼板とその製造方法さらに当該無方向性電磁鋼板を利用してローターを製造する方法に係り、特に高速回転モーターのローターのように大きな応力の掛かる部材の製造に好適な打ち抜き性及び鉄損の優れた時効硬化性無方向性電磁鋼板、その製造方法及びそれを利用したローターの製造方法に関する。本発明によって製造された無方向性電磁鋼板は、製造時にはその降伏強度が低く、打ち抜き加工が容易であるが、打ち抜き加工後の時効処理によりその降伏強度が上昇し、組み立てられたローターの強度を大にするという特徴を有する。

40

【0002】

【従来の技術】

近年では、モーターの駆動システムが高度化され、駆動電源の周波数制御により、可変速運転や商用周波数以上での高速回転が可能となっている。そのような高速回転を行うモーターでは、高速回転に耐えうるローターが必要になっている。一般に回転体に作用する遠

50

心力は回転半径に比例し、回転速度の2乗に比例し、中・大型の高速モーターでは、ローターに作用する遠心力が600MPaをこえる場合がある。また、近年モーター効率向上の観点から増加した、ローターに永久磁石を埋め込んだ磁石埋設型DCインバーター制御モーターでは、遠心力でローターから磁石が飛び出そうとするが、これを抑える際に、使用される電磁鋼板には大きな力が掛かる。このため、モーター、特にローターに使用される電磁鋼板には、従来にも増して降伏強度が高いことが必要とされている。

【0003】

金属学的には、降伏強度を高める手段として固溶強化、析出強化及び結晶粒微細化の3つの方法が知られており、電磁鋼板にも適用されている。固溶強化を利用した方法としては、特許文献1にはSi含有量を3.5～7.0%と高めるとともに固溶硬化の大きい元素を添加する方法が、特許文献2にはSi含有量を2.0～3.5%とし、NiあるいはNiとMnの含有量を高める方法が開示されている。析出強化を利用した方法としては、特許文献3にSi含有量を2.0～4.0%とし、Nb、Zr、Ti、Vの炭化物、窒化物を微細析出させる方法が開示されている。

【0004】

【特許文献1】特開昭60-238421号公報

【特許文献2】特開昭62-256917号公報

【特許文献3】特開平6-330255号公報

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

これらの方法により高い降伏強度を有する電磁鋼板が得られる。しかし、これらの手段によって製造される電磁鋼板は硬度が高く、そのため打ち抜き性が悪い。すなわち、積層材を打ち抜くときの金型の磨耗が激しく、早期に大きなかえりが発生するようになる。また、特許文献1に記載の技術のようにSiを多く含むと、磁束密度が低下するという問題がある。さらに、特許文献3に記載の方法では、炭化物、窒化物が無方向性電磁鋼板に必要な結晶粒成長を妨げるために、鉄損が劣るという問題点がある。結晶粒微細化による手段も同様に鉄損を劣化させる。

【0006】

このように従来の手段は、高い打ち抜き性と良好な鉄損を維持しながら、ローターの降伏強度を十分高めるといった課題を解決していない。特に、打ち抜き性は、降伏強度が高くなるほど劣化するため、良好な打ち抜き性と高い降伏強度を両立させることは不可能と考えられていた。

【0007】

本発明は、高い打ち抜き性と良好な鉄損を維持しながら、ローターの降伏強度を十分高めるといった課題を解決することができる無方向性電磁鋼板、その製造方法及びそれを利用したローターの製造方法を提案するものである。

【0008】

【課題を解決するための手段】

本発明者らは、上記課題を解決するために種々の検討を行った結果、Cuを含んだ電磁鋼板の時効硬化現象に着目し、良好な打ち抜き性をもちながら組み立て後のローターには高い降伏強度を付与できる手段を確立した。すなわち、Cuを含んだ無方向性電磁鋼板の時効硬化特性を利用して、ローター等の組み立てに使用される電磁鋼板の降伏強度を打ち抜き工程前においては低くしておき、打ち抜き後直ちに、あるいはローターに組み立て後に時効硬化により積層材の降伏強度を高めるのである。

【0009】

具体的には、本発明の打ち抜き性及び鉄損の優れた時効硬化性無方向性電磁鋼板は、質量比で、C:0.02%以下、Si:4.5%以下、Mn:2.0%以下、Al:4.0%以下、S:0.02%以下、Cu:0.5%以上3.0%以下を含有し、残部Fe及び不可避不純物からなり、500℃で10hの時効処理による降伏強度上昇が100MPa以上であるとともに、鉄損値の劣化が1.5W/kg以下であるものである。

【0010】

上記各発明においては、Ni、Zr、V、Sb、Sn、Ge、B、Ca及び希土類元素から選んだ元素を、Ni、Zr、Vについては0.1～3.0%、Sb、Sn、Geについては0.01～0.5%、B、Ca及び希土類元素については0.001～0.01%を単独で又はこれらを複合して含有することができる。また、Pを0.5%以下の範囲で含有させることができる。

【0011】

上記打ち抜き性及び鉄損の優れた時効硬化性無方向性電磁鋼板は、前記各発明のいずれかに記載の組成を有する鋼スラブに巻取温度を600℃以下とする熱間圧延を施して熱延板を得、該熱延板に冷間圧延を施して最終板厚の冷延板とした後、Cu固溶温度(Ts)+10℃以上に加熱した後Cu固溶温度から400℃まで10℃/s以上の速度で冷却する仕上焼鈍を施すことにより製造できる。この冷間圧延に当たっては、中間焼鈍を挟む2回以上の冷間圧延とすることができ、この中間焼鈍をCu固溶温度+10℃以上に加熱した後該Cu固溶温度から400℃まで5℃/s以上の速度で冷却するものとすることもできる。

10

【0012】

上記打ち抜き性及び鉄損の優れた時効硬化性無方向性電磁鋼板は、また、前記組成を有する鋼スラブに熱間圧延を施して熱延板を得、Cu固溶温度+10℃以上に加熱した後該Cu固溶温度から400℃まで5℃/s以上の速度で冷却する熱延板焼鈍を施した後、冷間圧延を施して最終板厚の冷延板とし、Cu固溶温度(Ts)+10℃以上に加熱した後Cu固溶温度から400℃まで10℃/s以上の速度で冷却する仕上焼鈍を施すことにより製造することができる。

20

【0013】

本発明に係る無方向性電磁鋼板を用いてローターの組み立てるに当たっては、無方向性電磁鋼板からローター用積層材を打ち抜いた後、直ちに又はローター組み立てた後に時効処理を行う工程を付加すればよい。

【0014】

【発明の実施の形態】

(鋼板の組成)

本発明に係る無方向性電磁鋼板の基本組成は、質量比で、C：0.02%以下、Si：4.5%以下、Mn：2.0%以下、Al：4.0%以下、S：0.02%以下、Cu：0.5%以上3.0%以下を含有し、残部Fe及び不可避不純物からなる。

30

【0015】

C量を0.02%以下とするのは、C量が0.02%を超えると磁気時効により、鉄損が著しく劣化するためである。Siは、鉄損の低減、降伏強度を増加させるのに有効な元素であるが、4.5%を超えると鋼板の冷間圧延性を著しく低下させ、また、降伏強度が高くなりすぎて打ち抜き性を低下させるので、4.5%以下に制限する。

【0016】

Mnは、熱間圧延性を改善する効果があるが、多量の添加は鉄損を劣化させるので2.0%以下とする。Alは、鉄損改善に有用な元素であるが、過度の添加は冷延性を劣化させるので、その添加量は4.0%以下とする。Sは無方向性電磁鋼板の製造過程で不可避免的に混入元素であるが、その残留量が多いとCu析出物を形成し、仕上焼鈍における粒成長を抑制し、鉄損を劣化させる。したがってS量の制御は重要であり0.02%以下とする。

40

【0017】

Cuの添加は、本発明の最も特徴的な事項である。その含有量が0.5%未満であると鋼板の打ち抜き後に時効処理したときの降伏強度の向上が少なく、一方3.0%超となると打ち抜き前の素材電磁鋼板(以下、「製品板」という)中に微細なCu析出物とともに粗大なCuの析出物が残留し、打ち抜き性が劣化するとともに、電磁鋼板を打ち抜き後時効処理したとき降伏強度の十分な上昇が得られなくなる。また、鉄損も劣化する。そのため

50

、Cuは0.5～3.0%、好ましくは0.8%～2.0%の範囲で含有させる。

【0018】

上記元素のほかは、Fe（鉄）及び不可避不純物である。不可避不純物としてのNは0.01%以下とするのがよい。

【0019】

本発明に係る無方向性電磁鋼板の基本組成は以上のとおりであるが、上記成分に加えて磁気特性の改善元素として知られているNi、Sb、Sn、Ge、B、Ca、Zr、希土類元素、Vなどを単独又は複合して添加することができる。しかし、その添加量は本発明の目的を害さない程度とすべきである。具体的には、これら元素の望ましい添加範囲は、Ni、Zr、Vについては0.1～3.0%、Sb、Sn、Geについては0.01～0.5%、B、Ca、希土類元素については、0.001～0.01%である。なお、Niは熱延工程で発生するヘゲ疵を減少させる効果があるので積極的に添加するのが好ましい。

【0020】

また、Pを降伏強度向上のために添加することもできる。しかし、その過剰な添加は打ち抜き性、また冷延性を害するので0.5%以下とすべきである。

【0021】

（鋼板の組織、特性値）

本発明に係る無方向性電磁鋼板では、鋼板中のCuが鋼中に固溶状態で存在していることが重要である。製品板の組織中に微細なCu析出物が多量に存在していると、その硬度が高くなって打ち抜き性が劣化するばかりでなく、打ち抜き後の時効処理による降伏強度の上昇が小さくなる。一方、製品板の組織中に粗大なCu析出物が存在していると、その鉄損が劣化するばかりか、Cuの時効処理中の析出は、すでに析出している粗大なCu析出物の上に重なるようにして起こり、Cu析出物が更に粗大化して鉄損が著しく劣化する原因となる。

【0022】

製品板におけるCuの鋼中固溶量は0.5～3.0%、好ましくは0.8～2.0%である。この範囲のCuを固溶させた鋼では500℃×10hの時効焼鈍により、鋼中に平均粒径5nm程度のCu析出物を 10^{20} 個/mm³程度析出させることができ、その結果、150MPa以上の降伏強度上昇を得ることができ、ローター積層板の降伏強度を大きく向上させることができる。特に、Cu量が最適である0.8%以下、2.0%以下であるときには、降伏強度の上昇は150MPaから250MPaとなり、ローター積層板の降伏強度を450MPa以上とすることができる。上記機構による降伏強度の上昇は大きな鉄損値の劣化（鉄損値の増大）を伴わない。後に実施例で明らかになるように、鉄損の劣化量は1.5W/kg以下に留まる。

【0023】

（製造方法）

本発明に係る打ち抜き性及び鉄損の優れた時効硬化性を有する無方向性電磁鋼板を製造するには、まず、転炉、あるいは電気炉などで溶製された鋼を、連続铸造あるいは造塊後の分塊圧延により鋼スラブとする。鋼スラブの組成は目的とする製品板の組成と同一でよい。得られた鋼スラブを熱延し、1回又は必要に応じて中間焼鈍を挟む最終冷延を行って製品板厚とし、仕上焼鈍を施す。

【0024】

上記一連の工程において、本発明では以下のとおり少なくとも最終冷間圧延前に粗大Cu析出物が残留するのを防止する措置をとる。最終冷間圧延前に粗大Cu析出物が残留していると、その後の冷間圧延および仕上焼鈍を適正に行っても、粗大Cu析出物が再固溶せず、製品板中の固溶Cu量が低下し、時効処理による降伏強度の上昇が小さくなるからである。

【0025】

その第一は熱延における巻取り温度を600℃以下、望ましくは550℃以下とすること

である。第二は、熱延後、冷延までの間に、Cu固溶温度 (T_s) + 10℃以上に加熱して粗大Cu析出物を固溶せしめた後、Cu固溶温度から400℃までの間を冷却速度5℃/s以上で冷却する熱延板焼鈍を施すことである。後者の場合には熱延における巻取り温度は特に問わない。また、これらに手段は併用することもできる。なお、Cu固溶温度 (T_s) は

$$T_s (\text{℃}) = 3351 / (3.279 - \log_{10} (\text{Cu質量\%})) - 273$$

により求められる。

【0026】

このようにして得られた熱延板は、1回の又は中間焼鈍を挟む2回以上の冷間圧延を行って最終板厚の冷延板とする。この中間焼鈍の条件を上記熱延板焼鈍と同様の条件として粗大なCu析出物の固溶を確実にすることもできる。 10

【0027】

得られた最終板厚の冷延板は、次いで仕上焼鈍に付される。仕上焼鈍は加熱温度をCu固溶温度 (T_s) + 10℃以上とし、該加熱温度で1～300s保定した後、前記Cu固溶温度から400℃までを10℃/s以上の速度で冷却することによって行う。

【0028】

加熱温度がCu固溶温度+10℃に満たないと、仕上焼鈍の過程で析出した微細なCu析出物が製品板中に残留して、鉄損を劣化させるとともに、固溶Cu量が減少するため、時効処理によっても十分な降伏強度の上昇が得られなくなる。また、Cu固溶温度から400℃までの冷却速度が10℃/s未満のときには、一旦固溶したCuが再析出して製品板中に存在するようになるため、製品板の降伏強度が高くなり、打ち抜き性が劣化する。また、製品板中の固溶Cu量が減少するため、時効処理によって十分な降伏強度の上昇が得られなくなる。 20

【0029】

仕上焼鈍を経た後は通常のとおり絶縁被膜の塗布乾燥焼付けがなされ、ローター等を製造するための素材無方向性電磁鋼板（製品板）となる。製品板はこの状態では降伏強度が低く（主としてSi含有量に依存し、0.3%Siの場合ではほぼ200MPa、3.5%Siの場合約450MPa）であり、打ち抜き性が優れている。

【0030】

製品板にはそのエンドユーザーにおいてローターの積層材に打ち抜き加工後500℃×10h程度の時効処理が施される。これにより、積層材はCuの析出により硬化し、降伏強度が150～250MPa程度向上する。なお、上記時効処理温度は高すぎると、Cu析出物が粗大になり、降伏強度の上昇が小さくなるとともに、鉄損が劣化する。一方、時効処理温度が低すぎると、十分な降伏強度の上昇が得られるまでに時間がかかり、不経済である。最適な時効処理温度は400℃から650℃の間である。 30

【0031】

【実施例】

（実施例1）

表1に示す成分およびCu固溶温度 (T_s) を有する鋼を転炉で溶製し、連続鑄造によりスラブとした。得られたスラブを熱間圧延により板厚2.0mmの熱延板とした。熱間圧延時の巻取温度は500℃であった。得られた熱延板を冷間圧延により最終板厚0.5mmの冷延板としたのち、表1に示す焼鈍条件で仕上焼鈍を行った。Cu固溶温度から400℃までの冷却速度は10℃/sとした。得られた仕上焼鈍板に絶縁被膜を被成し製品板とした。 40

【0032】

上記製品板の特性を鉄損 $W_{15/50}$ (W_1)、打ち抜き性、降伏強度 ($Y P_1$) により評価し、ついで、該製品板に500℃×10hの時効処理を行い、時効処理後の特性を鉄損 $W_{15/50}$ (W_2) および降伏強度 ($Y P_2$) により評価した。なお、鉄損はエプスタイン試験片にて測定し、打ち抜き性は製品板からリング試料（外径20mm×外径30mm）を打ち抜くときのかえり高さが30μmとなる打ち抜き回数によって測定した。ま 50

た、降伏強度は製品板の圧延方向とその直角方向について下降伏強度を測定し、その平均値によって決定した。結果は表 2 に示す。

【 0 0 3 3 】

表 2 に示すように、組成および仕上焼鈍条件を本発明範囲内に制御したものは、いずれも製品板において優れた打ち抜き性を示し、また時効処理後において高い降伏強度を示した。また、製品板と時効処理後の鉄損の差は 1.5 W / k g 以下であって、ローター組み立て後の鉄損も十分低くなる。

【 0 0 3 4 】

これに対し、低 S i 成分系の従来鋼（比較例：N o . 4）および高 S i 成分系の従来鋼（比較例：N o . 8）では、良好な打ち抜き性、鉄損が得られるものの、C u が低いため、時効処理による降伏強度の上昇がほとんど認められない。また、C u を過剰に含有する鋼（比較例：N o . 9）は、製品板の打ち抜き性、鉄損がともに悪く、かつ時効処理による降伏強度の上昇も小さかった。

【 0 0 3 5 】

【表 1】

No.	化学組成(%)							Ts (℃)	仕上げ 焼鈍温度 (℃)	備考
	C	Si	Mn	Al	S	Cu	その他 成分			
1	0.003	0.3	0.1	0.001	0.005	1.2		774	800	発明例
2	0.003	0.3	0.1	0.001	0.005	0.8		720	800	発明例
3	0.003	0.3	0.1	0.001	0.005	0.5		663	800	発明例
4	0.003	0.3	0.1	0.001	0.005	0.3		608	800	比較例
5	0.003	0.3	0.1	4.0	0.005	1.2		774	800	発明例
6	0.003	0.3	0.1	0.001	0.005	1.2		774	800	発明例
7	0.003	3.5	0.1	0.001	0.020	1.8		835	800	発明例
8	0.003	3.5	0.1	0.001	0.005	0.3		608	1000	比較例
9	0.003	3.5	0.1	0.001	0.005	3.0		923	1000	発明例
10	0.003	3.5	0.1	0.001	0.005	4.0		979	1000	比較例
11	0.020	3.5	0.1	0.001	0.005	1.8		835	1000	発明例
12	0.003	4.5	0.1	0.001	0.005	1.8		835	1000	発明例
13	0.003	3.5	2.0	0.001	0.005	1.8		835	1000	発明例
14	0.003	0.1	0.2	0.001	0.002	1.2	Ni:1.0	774	820	発明例
15	0.003	0.1	0.2	0.001	0.002	1.2	Zr:1.0	774	820	発明例
16	0.003	0.1	0.2	0.001	0.002	1.2	V:1.0	774	820	発明例
17	0.003	0.1	0.2	0.001	0.002	1.2	Sb:0.05	774	820	発明例
18	0.003	0.1	0.2	0.001	0.002	1.2	Sn:0.05	774	820	発明例
19	0.003	0.1	0.2	0.001	0.002	1.2	Ge:0.05	774	820	発明例
20	0.003	0.1	0.2	0.001	0.002	1.2	B:0.005	774	820	発明例
21	0.003	0.1	0.2	0.001	0.002	1.2	Ca:0.005	774	820	発明例
22	0.003	0.1	0.2	0.001	0.002	1.2	Ce:0.005	774	820	発明例

【 0 0 3 6 】

【表 2】

No.	製品板特性			時効後特性		時効処理効果		備考
	打ち抜き回数 (万回)	YP ₁ (MPa)	W ₁ (W/kg)	YP ₂ (MPa)	W ₂ (W/kg)	Y*	W**	
1	82	211	5.2	455	5.5	244	0.3	発明例
2	81	213	5.2	448	5.5	235	0.3	発明例
3	81	215	5.1	358	5.4	143	0.3	発明例
4	80	220	5.1	225	5.4	5	0.3	比較例
5	81	235	5.0	445	5.4	210	0.4	発明例
6	82	215	5.2	465	5.5	250	0.3	発明例
7	45	423	2.6	635	2.9	212	0.3	発明例
8	44	425	2.6	427	2.8	2	0.2	比較例
9	46	425	2.5	658	4.0	233	1.5	発明例
10	20	520	3.0	542	4.8	22	1.8	比較例
11	45	435	2.5	644	2.9	209	0.4	発明例
12	45	445	2.4	678	2.8	233	0.4	発明例
13	45	423	2.5	650	2.9	227	0.4	発明例
14	92	235	5.8	464	6.0	229	0.2	発明例
15	93	241	5.7	478	6.1	237	0.4	発明例
16	92	221	5.8	452	6.0	231	0.2	発明例
17	96	202	5.6	432	5.9	230	0.3	発明例
18	95	209	5.7	445	5.9	236	0.2	発明例
19	95	210	5.8	432	6.0	222	0.2	発明例
20	96	200	5.6	449	6.1	249	0.5	発明例
21	95	202	5.7	468	5.9	266	0.2	発明例
22	96	208	5.8	482	6.0	274	0.2	発明例

*Y : Y₂-Y₁, **W : W₂-W₁

【0037】

(実施例2)

C : 0.003%、Si : 0.1%、Mn : 0.2%、Al : 0.4%、S : 0.002%、Cu : 1.5%の組成を有する鋼AおよびC : 0.003%、Si : 0.1%、Mn : 0.2%、Al : 0.4%、S : 0.002%、Cu : 0.01%の組成を有する鋼Bを転炉により溶製し連続鋳造によりスラブとなした。これら鋼A、BのCu固溶温度(T_s)はともに807℃であった。得られたスラブを熱間圧延により板厚1.8mmの熱延板とした。得られた熱延板に対し表3に示す条件で熱延板焼鈍を施した後、1回冷延法により板厚0.35mmの冷延板とした。得られた冷延板に、同じく表3に示す条件で仕上焼鈍を行った。得られた仕上焼鈍板に絶縁被膜を被成して製品板とした。

【0038】

実施例1の場合と同様にして製品板の鉄損W_{15/50}(W₁)、打ち抜き性、降伏強度(YP₁)および時効処理後の鉄損W_{15/50}(W₂)および降伏強度(YP₂)を評価した。結果は表4に示す。表4から分かるように、鋼組成、熱延板焼鈍条件、仕上焼鈍条件を本発明範囲内に制御したものは、製品板において優れた打ち抜き性、低い鉄損値を示し、また時効処理後において高い降伏強度を示した。また、時効処理による鉄損劣化は1.5W/kg以下であった。

【0039】

しかしながら、Cuを添加しない従来鋼B(比較例:No.39)では、製品板において優れた打ち抜き性、低い鉄損値を示すが、時効処理により降伏強度は上昇しなかった。また、熱延板焼鈍温度が低すぎる場合(比較例:No.31)、熱延板焼鈍の冷却速度が小

10

20

30

40

50

さすぎる場合（比較例 No. 35）、仕上焼鈍温度が低すぎる場合（比較例 No. 37）は、ともに製品板および時効処理後の鉄損が悪く、時効によっても十分な降伏強度の上昇が得られなかった。さらに、仕上焼鈍の冷却速度が小さすぎる場合（比較例：No. 38）は、製品板の打ち抜き性、鉄損が劣っているのみならず、時効処理によっても降伏強度の上昇が得られなかった。

【0040】

【表3】

No.	鋼 記号	熱延板焼鈍		仕上げ焼鈍		備考
		加熱温度 (°C)	冷却速度 (°C/s)	加熱温度 (°C)	冷却速度 (°C/s)	
31	A	800	5	820	10	比較例
32	A	820	5	820	10	発明例
33	A	900	5	820	10	発明例
34	A	900	25	820	10	発明例
35	A	900	2	820	10	比較例
36	A	900	5	820	25	発明例
37	A	900	5	800	10	比較例
38	A	900	5	820	5	比較例
39	B	900	5	820	10	比較例

【0041】

【表4】

No.	鋼 記号	製品板特性			時効後特性		時効処理効果		備考
		打ち抜き 回数 (万回)	YP ₁ (MPa)	W ₁ (W/kg)	YP ₂ (MPa)	W ₂ (W/kg)	Y*	W**	
31	A	78	284	4.2	352	5.8	68	1.6	比較例
32	A	77	285	3.7	463	4.0	178	0.3	発明例
33	A	78	285	3.8	455	4.1	170	0.3	発明例
34	A	79	278	3.7	467	4.0	189	0.3	発明例
35	A	78	289	4.1	346	5.8	57	1.7	比較例
36	A	76	281	3.7	475	3.8	194	0.1	発明例
37	A	77	277	4.2	362	5.9	85	1.7	比較例
38	A	55	370	4.1	455	5.7	85	1.6	比較例
39	B	76	278	3.7	280	3.8	2	0.1	比較例

*Y : Y₂-Y₁, **W : W₂-W₁

【0042】

（実施例3）

C : 0.003%、Si : 0.4%、Mn : 0.2%、Al : 0.2%、S : 0.002%、Cu : 1.5%、P : 0.08%の組成を有する鋼C（Ts : 807℃）を転炉により溶製し、連続铸造によりスラブとし、熱間圧延により板厚2.5mmの熱延板とした。得られた熱延板を中間焼鈍を挟む2回冷延法により板厚0.65mmとした。その際、上記冷間圧延における第1回目の冷間圧延による板厚は1.5mmとし、これに対して900℃に加熱後、Cu固溶温度から400℃までを20℃/sで冷却した。得られた冷延板に対し、加熱温度850℃、Cu固溶温度（Ts）から400℃までの冷却速度を25℃

／sとする仕上焼鈍を行った。得られた仕上焼鈍板に絶縁被膜を被成して製品板とした。

【0043】

実施例1の場合と同様にして得られた製品板の鉄損 $W_{1.5/50}$ (W_1)、打ち抜き性、降伏強度 ($Y P_1$) および時効処理後の鉄損 $W_{1.5/50} < W_2$ および降伏強度 ($Y P_2$) を評価した。熱延条件、仕上焼鈍条件を表5に、特性値を表6に示す。

【0044】

表6から分かるように熱延巻き取り温度600℃以下のとき（実施例：No. 41、42）では、製品板および時効処理後において良好な諸特性値を得たが、巻き取り温度が600℃を超える場合（比較例No. 43）では、製品板および時効処理後の鉄損値が低く、かつ時効処理による降伏強度の上昇が小さかった。

【0045】

【表5】

No.	熱延後 巻取り温度 (℃)	仕上げ焼鈍		備考
		加熱温度 (℃)	冷却速度 (℃)	
41	500	900	20	発明例
42	600	900	20	発明例
43	700	900	20	比較例

【0046】

【表6】

No.	製品板特性			時効後特性		時効処理効果		備考
	打ち抜き 回数 (万回)	$Y P_1$ (MPa)	W_1 (W/kg)	$Y P_2$ (MPa)	W_2 (W/kg)	Y^*	W^{**}	
41	58	284	3.9	457	4.2	173	0.3	発明例
42	57	285	3.9	463	4.2	178	0.3	発明例
43	58	285	4.4	345	6.0	60	1.6	比較例
* $Y : Y_2 - Y_1$, ** $W : W_2 - W_1$								

【0047】

【発明の効果】

本発明によれば、優れた打ち抜き性と鉄損を兼備し、かつ時効処理により降伏強度が大きく上昇する時効硬化性の無方向性電磁鋼板が得られる。これにより強度が高くかつ信頼性の高い高速モーターや、磁石埋設型モーターのローターを効率よく経済的に製造し得る。

フロントページの続き

Fターム(参考) 4K033 AA01 CA01 CA02 CA03 CA06 CA09 FA10 KA02
5E041 AA02 CA04 HB11 NN18